١ – جسم يستند إلى سطح صلب ناعم بشكل مطلق وغير متحرك في النقطة A يتجه رد الفعل N لهذا السطح باتجاه الناظم على هذا السطح في النقطة A نقطة تماس الجسم مع السطح .

٢ – يستند الجسم إلى نقطة ثابتة أو إلى خط ثابت . إذا أهملنا الاحتكاك فإنه في هذه الحال يكون رد الفعل للقيد N المؤثر في هذا الجسم في نقطة تماس الجسم مع مستنده متجهاً باتجاه الناظم على سطح الجسم في هذه النقطة .

٣ – الجسم يستند إلى نقطة على سطح ناعم وثابت . رد فعل القيد N في هذه الحال يؤثر في نقطة تماس الجسم مع السطح ومتجه باتجاه الناظم على السطح .

٤ – القيد يتم بشكل مرن ، خيط غير قابل للتمدد (سلسلة أو حبل) رد فعل هذا القيد يؤثر في نقطة تثبيت الخيط لهذا الجسم ويتجه باتجاه الخيط في هذه الحال من الجدير بالذكر هو أن الخيط يمكن أن يكون في حال تطاول فقط وباتجاه واحد ويكون التطاول بالذات في نقطة تثبيت الخيط بالجسم وحتى النهاية الأخرى المثبت فيها .

٥ – الجسم يستند إلى مستو ثابت وناعم مسند حر يمكن أن ينتقل على هذا المستوي رد فعل يتجه مثل هذا المسند R_a بشكل عمودي على هذا المستوي الذي يمكن أن ينتقل عليه المسند الحر .

٦ – القيد يمكن أن يتم بوساطة مفصل أسطواني ثابت . في هذه الحالة الجسم المدروس يمكنه فقط الدوران حول المحور الثابت لهذا المفصل الأسطواني إذا أهملنا الاحتكاك في هذا المفصل فإن رد فعل المفصل الأسطواني الثابت يتجه باتجاه عمودي على سطحه الأسطواني أي يؤثر في مستوي عمودي على محور المفصل ويتقاطع مع المحور ولكن اتجاه رد الفعل المفصل في هذا المفصل في المستوي غير معلوم بشكل مسبق ويطلب تحديد هذا الاتجاه في كل حالة في هذه الحالات أي في كل حالة محددة .

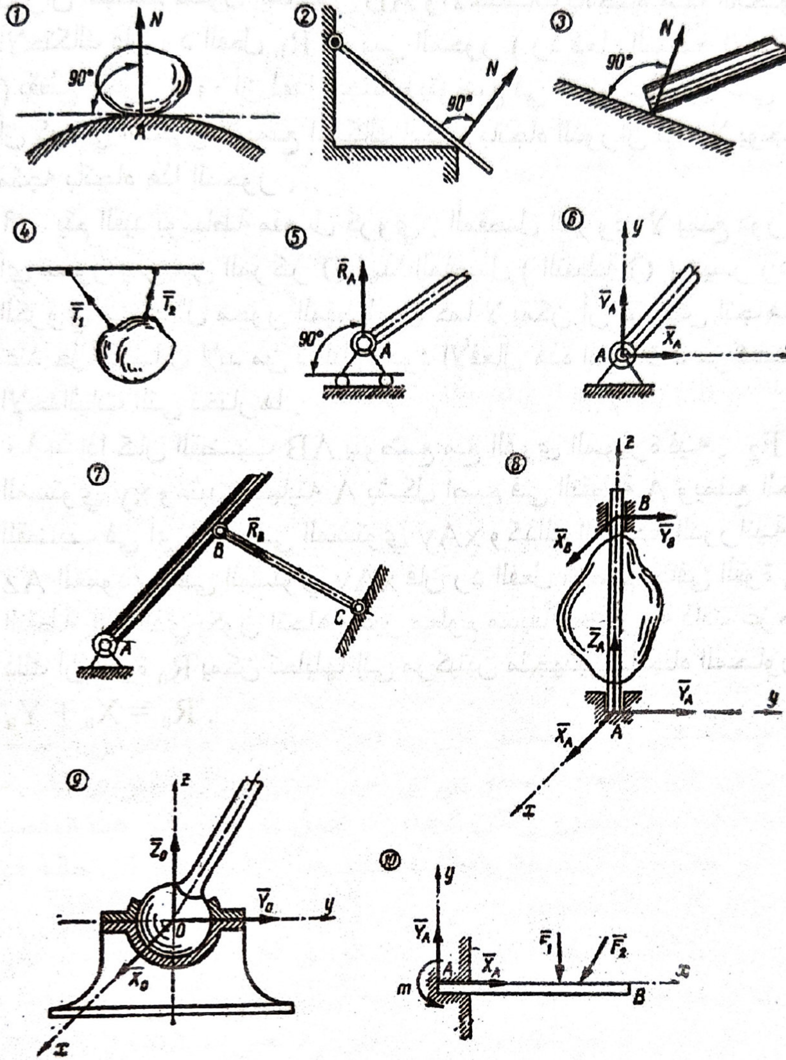
٧ – يمكن أن يتم القيد بمساعدة محور مهمل الوزن كأن نقول إنه متصل مع الجسم المعطى بإحدى نهايتيه بمفصل ، توازنه يجب أن ندرسه مع أي جسم آخر ، على سبيل المثال مع جدار أو مع قائم أو مع الأرض زد على ذلك أنه لا يؤثر في هذا المحور أية قوة كانت (يهمل وزنه) . يؤثر رد فعل R_b هذا المحور في الجسم المعطى ومتجه باتجاه المحور . يمكن عند ذلك أن يؤثر فيه قوة ضغط أو شد .

٨ – a – يمكن أن يتم القيد بمساعدة مسند أجوف . يستخدم المسند A لتثبيت أسفل القائم ويسمح بالتحرك باتجاه واحد فقط وبشكل خاص الدوران لهذا الجسم حول محوره القائم ، قاعدة المسند الأجوف لا تسمح بتحرك الجسم بالاتجاه الناظمي للأسفل (باتجاه محور القائم) وجدار المسند لا يسمح بحركة الجسم في المستوي العمودي على محور القائم . رد الفعل Z_a لقاعدة المسند متجهة بشكل عمودي للأعلى ورد فعل جدران المسند يؤثر في المستوي الأفقي لذلك عند حل مثل هذه المسائل لابد من تحليل رد الفعل إلى مركبتين باتجاه المحورين y,x عموديين على المحور Z القائم .

٨ – b - القيد يتم بمساعدة رولمان أسطواني ثابت (كرسي المحور) B لا يمنع دوران الجسم حول المحور AB والاحتكاك باتجاه هذا المحور . إذا أهملنا الاحتكاك فإن رد الفعل R_b لكرسي المحور (رد فعل السطح الأسطواني لجدرانه) يقطع محور الدوران لهذا الجسم ويتوضع في مستو عمودي على هذا المحور بما أن كرسي المحور لا يمنع احتكاك الجسم باتجاه الدوران فإنه لا يوجد حتى رد فعل متجه باتجاه هذا المحور .

٩ – يتم القيد بوساطة مفصل كروي . المفصل الكروي لا يمنع دوران الجسم حول أي محور يمر من المركز O لهذا المفصل (النقطة O) . يمر رد فعل المفصل الكروي من خلال محور المفصل O كما لا يمكن أن نفترض اتجاهه مسبقاً . لذلك عند حل المسائل لابد من تحليل ردود الأفعال هذه إلى ثلاث مركبات باتجاه محاور الإحداثيات التي نختارها .

١٠ – إذا كان القضيب AB يتوضع مع القوى المؤثرة فيه , F_1 , F_2 .... في المستوي xy ومثبت بنهايته A بشكل أصم في النقطة A ويمنع الحركة الترددية للقضيب في أي اتجاه في المستوي xAy وكذلك الحركة الدورانية حول المحور Az العمودي على المستوي xAy فإن رد الفعل الأصم يكافئ القوة R_a المؤثرة في النقطة A والذي يكون اتجاهه غير معلوم مسبقاً ومزدوجة ذات عزم m . زد على ذلك أن القوة R_a يمكن تحليلها إلى مركبتين متجهتين باتجاه المحاور x,y أي أن : $R_a = X_a + Y_a$.



الشكل (١ – ١٠)

١ – ٣ : مخططات الجسم الطليق :

للبحث في توازن الجسم المقيد نتصور دائماً أننا نزعنا عن هذا الجسم مسانده كلها وأحللنا محلها ردود فعل هذه المساند في الجسم نفسه .

ففي حال الكرة المبينة في الشكل ((١ – ٨) a) ننزع عنها السطح الحامل ونحل محله القوة R_a أي ردة فعل السطح في الكرة ونعلم أن نقطة تطبيق هذه القوة يجب أن تقع في A نقطة التماس بين المستوى والكرة , فنستنتج , استناداً إلى مبدأ توازن قوتين , أنه يجب أن يكون رد الفعل شاقولياً ومساوياً الثقل W وبذلك يكون رد الفعل هذا قد تعين تعييناً كاملاً .

وأن الرسم المبين في الشكل ((١ – ٨) b) والذي تظهر فيه الكرة معزولة عن حاملها وتظهر فيه جميع القوى المؤثرة فيها ممثلة بأشعة تسمى مخطط الجسم الطليق .

وكذلك في حال الكرة المبينة في الشكل ((١ – ٩) a) إذا نزعنا القيود هنا أيضاً وعزلنا الكرة كجسم طليق الشكل ((١- ٩) b) كانت لدينا بالإضافة إلى الثقل W المطبق في النقطة C ، قوتا ردة فعل تحل إحداهما محل الحبل BC وتحل الأخرى محل الجدار AB .

ولما كان الحبل متصلاً بالكرة في نقطة C , وموازية إلى BC , أما مقدارها فلا يزال مجهولاً .

أما رد الفعل R_a فنقطة تطبيقه معلومة وهي نقطة التماس A .

وقد فرضنا أن سطح الجدار صقيل صقلاً تاماً أي أنه قادر على رد القوى الناظمة له فقط لذا فإن ردة الفعل R_a أفقي ويمر حامله من النقطة C كما في الشكل ونرى هنا أيضاً أن مقدار ردة الفعل هذه لاتزال مجهولةً .

وبهذا نكون قد أتممنا مخطط الجسم الطليق .

وإذا اتبعنا الطريقة المبينة سابقاً في الأجسام المقيدة رأينا أننا نحصل دائماً على نوعين من القوى التي تؤثر في الأجسام :

أحدهما القوى المفروضة وتسمى عادة بالقوى المؤثرة ، كقوة الثقالة W في الشكل ((١-٩) – b) .

وثانيهما قوى ردود الفعل التي تحل محل المساند ، كالقوتين S و R_a في الشكل ((١ – ٩) b) فلكي يتوازن الجسم يجب أن تؤلف القوى المؤثرة وقوى ردود الفعل معاً جملة متوازنة من القوى .

وهكذا نرى أننا نستطيع بالاستناد إلى مخطط الجسم الطليق أن نحدد جملة القوى التي تجب دراستها عند البحث في شروط توازن الجسم المقيد .

ولذا فإن إنشاء هذا المخطط يجب أن يكون الخطوة الأولى في تحليل أي مسألة من مسائل علم السكون .

ويجب أن يكون واضحاً أن أي خطأ أو حذف في هذا المخطط سينعكس على الأعمال التي تليه كلها .

ويمكننا فيما يلي إعادة شرح المسألة الرئيسية لعلم السكون على النحو التالي :

لدينا جسم ما مقيد جزئياً أو كلياً وهذا الجسم باق في حال السكون بتأثير جملة من القوى ولذا نعزل هذا الجسم عن مسانده ثم نظهر بالأشعة القوى المؤثرة فيه كلها سواء أكانت من القوى المؤثرة أو قوى ردود الفعل , ثم نبحث بعد ذلك في الشروط التي يجب أن تحققها هذه القوى لتكون في حالة توازن , أي لتكون حاصلتها معدومة .

١ – ٤ : تركيب القوى وتفريقها :

- يسمى رد جملة من القوى إلى أبسط جملة تكافئها بعملية **تركيب القوى** .

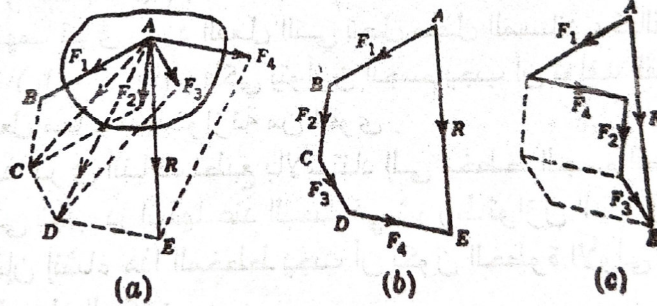
فإذا كانت لدينا القوى F_1 و F_2 و F_3 ...... المطبقة في نقطة واحدة من جسم ما ، وكانت كلها في مستو واحد , فإنها تمثل جملة من القوى يمكن ردها إلى قوة حاصلة وحيدة .

ويمكن إيجاد هذه الحاصلة بتطبيق متتال لقانون متوازي الأضلاع .

لنفرض مثلاً القوى الأربع F_1 و F_2 و F_3 و F_4 المطبقة في النقطة A من جسم ما (الشكل (١ - ١١) a) .

فلإيجاد حاصلة هذه القوى نبدأ بإيجاد الحاصلة AC للقوتين F_1 و F_2 وإذا جمعنا هذه الحاصلة مع القوة F_2 حصلنا على الحاصلة AD التي تكافئ F_1 و F_2 و F_3 .

وأخيراً إذا جمعنا القوتين AD و F_4 حصلنا على الحاصلة R للجملة F_1 و .... F_4 ويمكن لهذه العملية أن تمتد لتشمل أي عدد من القوى الواقعة في مستو واحد والمطبقة في نقطة واحدة .



الشكل (١ – ١١)

كما أنه يمكن في الحال السابقة إيجاد الحاصلة R نفسها بأن نعين على التوالي المجموع الهندسي للأشعة الطليقة الممثلة للقوى المفروضة (الشكل (١ - ١١) b) .

ففي هذه الحالة نبتدئ بالشعاع $\overrightarrow{AB}$ الممثل للقوة F_1 وننشئ من نهايته B الشعاع $\overrightarrow{BC}$ الممثل للقوة F_2 , ثم الشعاعين $\overrightarrow{CD}$ و $\overrightarrow{DE}$ الممثلين للقوتين F_3 و F_4 , فنلاحظ أن المضلع ABCDE الذي حصلنا عليه بهذه الطريقة هو المضلع ABCDE نفسه المبين في الشكل ((١ - ١١) a) ، وأن الشعاع AE الذي يصل نقطة A ، مبدأ الشعاع AB ,بنقطة E , نهاية الشعاع DE , يساوي الحاصلة $\vec{R}$ للجملة ، وهي مطبقة في النقطة A من الشكل ((١ - ١١) a) .

ويسمى المضلع ABCDE المبين في الشكل((١ - ١١) a) **مضلع القوى .**

أما الحاصلة فهي ممثلة بضلع الإغلاق لهذا المضلع وهي موجهة دائماً من مبدأ الشعاع الأول إلى نهاية الشعاع الأخير .

وبذلك يمكننا أن نقول إنه يمكن الحصول على حاصلة أي جملة من القوى المتلاقية في نقطة واحدة والواقعة في مستو واحد بإيجاد المجموع الهندسي لهذه القوى .

ومن الجلي أيضاً أن الحاصلة R لا تتعلق بالترتيب المتبع في جمع الأشعة الطليقة الممثلة للقوى المفروضة جمعاً هندسياً .

ففي المثال السابق مثلاً كان يمكننا أن نبدأ بالقوة F_1 وأن نجمع معها القوة F_4 ثم بعد ذلك نجمع القوتين F_2 و F_3 فإذا ما سرنا بهذا الترتيب حصلنا على مضلع القوى المبين في الشكل ((١ - ١١) c) ورأينا أن ضلع الإغلاق AE لهذا المضلع يساوي الحاصلة R السابقة نفسها .

وفي الحالة الخاصة التي تكون فيها القوى المفروضة جميعها محمولة على مستقيم واحد نلاحظ أن أضلاع مضلع القوى تقع كلها على مستقيم واحد , وتصبح آنئذ عملية الجمع الهندسي عملية جمع جبري , والحاصلة في هذه الحال هي المجموع الجبري لمركباتها .

أما إذا كانت نهاية الشعاع الأخير منطبقة على مبدأ الشعاع الأول فإن الحاصلة R تصبح مساوية الصفر وتصبح جملة القوى المفروضة بحال توازن

- تسمى العملية التي نستبدل فيها بقوة وحيدة عدداً من المركبات التي يكافئ فعلها فعل هذه القوة بعملية **تفريق القوة .**

وأن الحال التي نستبدل فيها بالقوة مركبتيها هي أكثر الحالات التي تعترضنا .

ويمكننا استناداً إلى قانون متوازي الأضلاع أن نفرق قوة معينة R إلى أي مركبتين P و Q متلاقيتين في نقطة واقعة على حامل هذه القوة وسنناقش فيما يلي حالتين محتملتين :

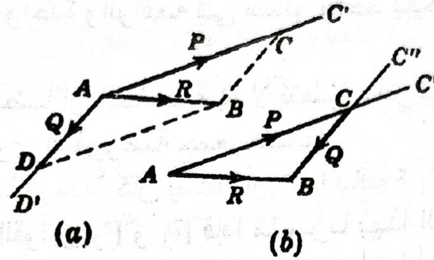
١- منحيا المركبتين معلومان ويطلب تعيين مقداريهما :

لنفرق مثلاً القوة R الممثلة بالشعاع $\overrightarrow{AB}$ (الشكل (١ - ١٢) a) إلى مركبتين محمولتين على المستقيمين AC و AD فنبتدئ من النقطة B ونرسم منها المستقيمين المنقطين BC و BD الموازيين للحاملين المفروضين للمركبتين المطلوبتين .

ونلاحظ أن C و D , نقطتي تلاقي هذين الموازيين مع الحاملين المفروضين للمركبتين , تحددان الشعاعين AC و AD اللذين يعينان المركبتين المطلوبتين P و Q تعييناً كاملاً .

ويمكننا الحصول على النتيجة السابقة نفسها برسم مثلث القوى ABC كما في الشكل ((١ - ١٢) b) , وذلك بأن نرسم من A و B , مبدأ الشعاع AB الممثل لـ R ونهايته , الموازيين AC و BC للحاملين المفروضين , فيتلاقى هذان الموازيان في النقطة C التي تحدد الشعاعين AC و CB الممثلين للمركبتين المطلوبتين P و Q .

فإذا طبقت هاتان المركبتان في أية نقطة من حامل القوة R كانتا مكافئتين لهذه القوة .



الشكل (١ ــ ١٢)

وفي الحالة الخاصة التي تكون فيها هاتان المركبتان متعامدتين نسميهما المركبتين القائمتين .

٢- مقدار إحدى المركبتين ومنحاها معلومان ويطلب تعيين مقدار المركبة الثانية ومنحاها .

لتكن لدينا مثلاً القوة R الممثلة بالشعاع AB ولتكن P إحدى مركبتيها ممثلة بالشعاع AC (الشكل (١ - ١٢) a) .

فإذا رسمنا هذين الشعاعين كما في الشكل ((١ - ١٢) b) حصلنا على المركبة الأخرى Q الممثلة بالشعاع CB بوصل C و B نهايتي الشعاعين المفروضين .

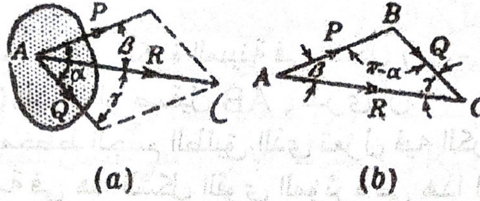
أما في حال تفريق قوة ما إلى ثلاث قوى واقعة في مستو واحد ومناحيها مفروضة فإننا نلاحظ أنه يمكننا أن نختار مقدار إحدى المركبات الثلاث اختياراً تحكمياً فالمسألة إذاً في هذه الحالة غير مقررة .

وفي الحالة العامة التي يطلب فيها تفريق قوة ما إلى أي عدد من المركبات الواقعة في مستو واحد والمتلاقية في نقطة واحدة واقعة على حامل هذه القوة تكون المسألة غير مقررة أيضاً مالم تكن هذه القوى كلها, باستثناء اثنتين منها , معينة المنحى والمقدار .

مثال (١) :

إذا طبقت قوتان مفروضتان P و Q ، الزاوية بينهما α ، في نقطة A من جسم ما فأوجد الصيغ اللازمة لحساب حاصلتهما والزاويتين β و γ الكائنتين بين حامل هذه الحاصلة وحاملي القوتين المفروضتين .

الحل : يبين الشكل ((١ – ١٣) a) متوازي أضلاع القوى المنشأ بالطريقة المعتادة ويبين الشكل (١ – ١٣) b) مثلث القوى الذي نحصل عليه بجمع الشعاعين الطليقين لهاتين القوتين هندسياً .



الشكل (١ – ١٣)

ونجد من مثلث القوى هذا أن :

$$R=\sqrt{P^2 ++ Q^2 + 2PQ\cos\alpha} \qquad (a)$$

فإذا ما علم مقدار R من المعادلة (a) أمكننا تعيين الزاويتين β و γ من المعادلتين التاليتين :

$$\sin\beta = \frac{Q}{R}\sin\alpha$$

$$\sin\gamma = \frac{P}{R}\sin\alpha \qquad (b)$$

ومن المفيد أحياناً أن نطبق هذه المعادلات لتعيين الحاصلة بدلاً من الرسم الهندسي الدقيق لمثلث القوى بمقياس ما .

١ – ٥ : توازن القوى المتلاقية في نقطة واحدة والواقعة في مستو واحد :